

METODOLOGÍA INTEGRAL DE IMPLANTACION DE ESPACIOS PRODUCTIVOS



INTEGRATED METHODOLOGY FOR LOCATION OF PRODUCTION SPACES

Ramón Losada Rodríguez
Dr. Arquitecto
ETSII Bilbao

Eduardo Rojí Chandro
Dr. Ingeniero Industrial
ETSII Bilbao

Recibido: 18/03/08

Aceptado: 22/09/08

Jesús Cuadrado Rojo
Ingeniero Industrial
ETSII Bilbao

Marcos Larrauri Gil
Ingeniero Industrial
EUITMyOP Bilbao

Palabras clave: planeamiento urbanístico, sostenibilidad, economía, implantación industrial, medio ambiente

RESUMEN

Los procesos de planificación territorial y urbana tradicionales han conducido a la población mundial, hacia la in-sostenibilidad. La actividad industrial, a través de la producción de bienes, constituye uno de los pilares básicos del agotamiento de los recursos y del deterioro del entorno.

La creciente importancia en nuestros días del establecimiento de políticas orientadas a minimizar el impacto medioambiental de cualquier tipo de actuación sobre la naturaleza, conlleva la necesidad del desarrollo de estudios de sostenibilidad de los mismos.

Generalmente el desarrollo de nuevas actividades económicas viene acompañado de la materialización de nuevos edificios, que en algunas ocasiones, pueden ser causa de importantes deterioros medioambientales si no se toman las medidas correctoras oportunas como puede ser la adecuada elección de su ubicación.

El propósito principal de la metodología propuesta consiste en permitir el desarrollo de una herramienta flexible, que facilite la toma de decisiones entre diversas alternativas para un mismo proyecto de construcción de edificio industrial, diseñado para realizar un cierto proceso productivo.

ABSTRACT

Traditional territorial and town planning processes have led the world population towards un-sustainability. Industrial activity is one of the basic pillars of resource exhaustion and environmental deterioration due to the production of goods.

The growing importance today of establishing policies orientated towards minimizing the deterioration of our environment for any kind of action we aim to carry out, brings home the need to carry out sustainability studies which accompany these new developments.

Development of new economic activities generally leads to the mate-

rialization of buildings, which occasionally may mean important deterioration in the environment where set, if the necessary measures are not taken.

This article establishes the analysis bases for sustainability optimization of industrial buildings.

Key words: *Urban planning, sustainability, economy, industrial spaces, environment*

1. INTRODUCCIÓN

La utilización del territorio por parte del hombre y su resultado formal, en gran medida están relacionados con factores económicos, sociales o políticos, derivados de los sistemas de producción y de los estilos de vida dominantes.

En los comienzos de nuestra historia, la producción de utensilios de sílex, supuso una ocupación y un uso del territorio acorde con el estilo de vida de los primeros hombres. Las limitaciones en la producción y en sus medios, el nomadismo, la infra-población, etc., mantenían un equilibrio entre naturaleza y actividad humana sobre el territorio.

Sin embargo, la invención de la máquina de vapor y la expansión de la industrialización (desde la Revolución Industrial en 1750 hasta mediados del siglo XX) que conllevó el consiguiente crecimiento de las ciudades y la producción automatizada sin más limitación que las leyes de mercado basadas en la oferta y demanda, junto con la superpoblación y la extensión de los mercados facilitada por la hegemonía del transporte, sentaron las bases del desequilibrio en y con la naturaleza.

La historia del hombre está marcada por una continua puesta a prueba de la tecnología, desafiando los límites que le impone el medio ambiente.

Hoy en día, el concepto de sostenibilidad tiene cada vez más importancia en la ejecución de cualquier actividad humana y en particular en aquellas relacionadas con la producción y la economía. A raíz del Informe

Brundland (1.987) la *Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo* acuñó el ahora universalmente conocido concepto de "**Desarrollo Sostenible**". Dicho informe establecía que la clave para el desarrollo sostenible es "*hacer frente a las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos de las generaciones futuras*". La proclamación de este nuevo principio, que llevaría a la revisión de las relaciones hombre - naturaleza, tendría tanto consideraciones a nivel local y mundial, como de medio ambiente y desarrollo, a través de la valoración del impacto de las acciones de la sociedad en el medio natural y las consecuencias para las generaciones futuras.



Figura 1: Espacio industrial integrado en entorno natural

En 1992, en la *Conferencia de Naciones Unidas en Río de Janeiro* se aprobó por parte de 179 estados la *Agenda 21*, un programa con una extensa definición de acciones dirigidas a la consecución de logros en materia de desarrollo sostenible. Las acciones involucraban a distintas organizaciones y grupos tales como gobiernos, autoridades locales, compañías industriales o asociaciones sociales. Obtener un grado de sostenibilidad aceptable, sólo es posible, si se alcanza un correcto equilibrio en el campo económico, en el social y en el medioambiental.

No obstante, las acciones descritas en la *Agenda 21* tienen un carácter bastante general, y los diferentes agentes implicados requieren de un asesoramiento sobre la forma de proceder a prácticas más sostenibles en su ámbito de actuación. En el caso del sector de la construcción por ser

una actividad que genera impactos importantes, se presentan aquí algunos datos y cifras significativos:

- Alrededor del 30% del consumo de energía en **Europa** se produce en los edificios.

- La industria de la construcción utiliza grandes cantidades de recursos naturales y ocupación de terrenos.

- El sector de la construcción es uno de los principales generadores de residuos. El 25% de los residuos en **Europa** proviene de la construcción y la demolición de edificios.

- Los europeos pasan más de 80% de su tiempo en los edificios.

- El disponer de otro tipo de infraestructuras asociadas a los edificios influye en la calidad de vida de los usuarios.

Existen diferentes metodologías y programas informáticos, orientados a la edificación residencial, por su mayor desarrollo superficial, y que abarcan diferentes grados de complejidad y temáticas principalmente medioambientales. Sin embargo, la referencia de su aplicación hacia la edificación industrial es escasa.



Figura 2: Espacio de actividad económica integrado en la trama urbana

El objetivo principal de la metodología propuesta (Figura 3) consiste en facilitar el desarrollo de una herramienta flexible, para facilitar la toma de decisiones entre las diferentes alternativas para el mismo proyecto de construcción de edificio industrial, diseñado para albergar a un determinado proceso de producción. Por ello, la toma de la decisión se basará en el estudio de la sostenibilidad y el planeamiento del entorno, pero sin perder de vista el aspecto económico

implícito en toda la actividad empresarial.

requisitos definidos para este estudio son:

3. Económico
4. Institucional

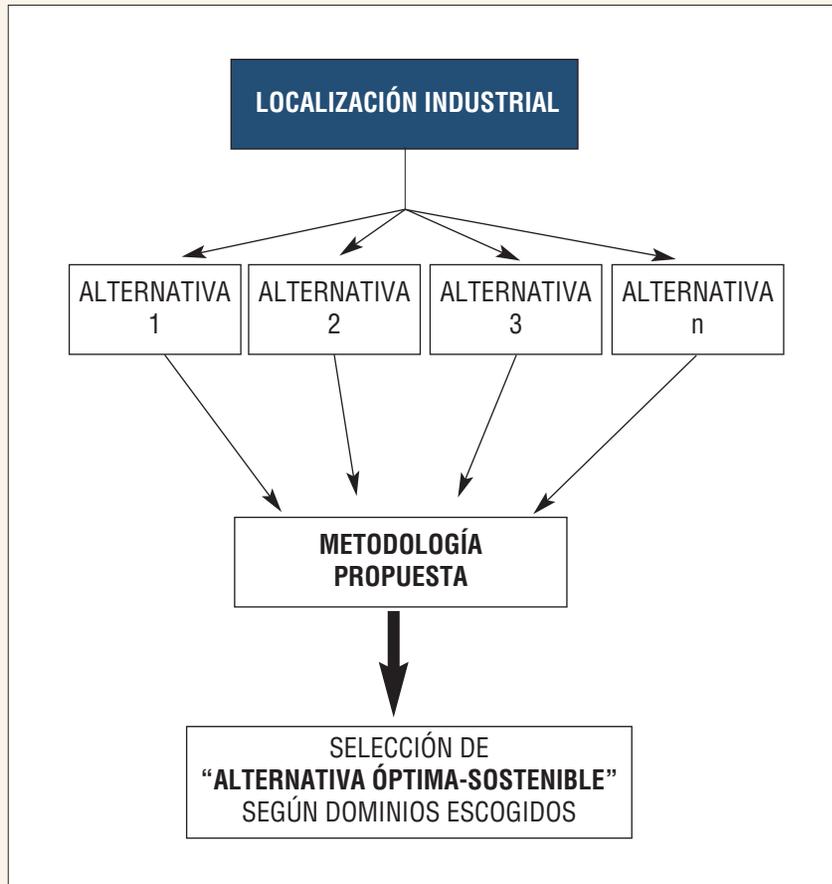


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología

Eje Economía. Representa los conceptos sociales y económicos tradicionales a tener en cuenta para la localización:

1. Fiscalidad
2. Mano de obra
3. Materias primas
4. Mercado
5. Comunicaciones y transporte
6. Industria auxiliar
7. Proximidad de la competencia
8. Clima laboral
9. Coste del suelo
10. Infraestructuras de servicios urbanos
11. Coste de la energía

Eje Planeamiento. Representa las diferentes regulaciones municipales, regionales o nacionales:

1. Zonificación industrial y de actividades terciarias
2. Tamaño del municipio
3. Legislación urbanística

La intersección entre las coordenadas de cada uno de los ejes, genera un espacio o dominio, en el que una serie de **critérios** deberán de ser definidos a fin de poder valorar las diferentes alternativas. Asimismo para poder medirlos, los criterios requerirán de la definición de otros parámetros que denominaremos **indica-**

2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA LA BÚSQUEDA DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA PARA EL PROYECTO

Para abordar el siguiente trabajo se ha dividido el conjunto de factores que se consideran determinantes a la hora de valorar la localización de una actividad industrial, desde la perspectiva de compaginar los aspectos indicados anteriormente desde tres planos fundamentales. La función de decisión estaría representada gráficamente por un espacio tridimensional en el que los tres ejes o **planos** principales de análisis serían los siguientes: (Figura 4).

Eje Sostenibilidad. Representa los diferentes conceptos de acuerdo con los cuales la sostenibilidad del edificio será cuantificada o analizada. Los

1. Social
2. Medioambiental

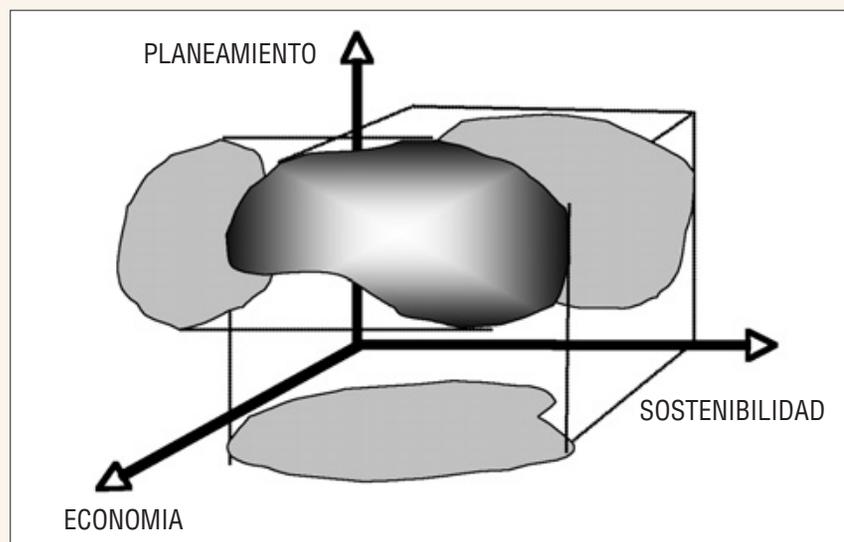


Figura 4: Ejes principales de análisis

dores, que posibilitaran que de una forma cuantitativa o cualitativa se pueda dar un valor numérico a los diferentes criterios. (Figura 5).

5. Selección y justificación de la mejor alternativa

El proceso de toma de decisión implica comparar elementos, lo cual

multiobjetivo. Entre estos métodos se encuentra el **método A.H.P.** (*Analytical Hierarchy Process*, Saaty 1980) que por sus particularidades es el que mejor se ajusta al modelo en desarrollo.

A partir de este método desarrollaremos la matriz de decisión "A"

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

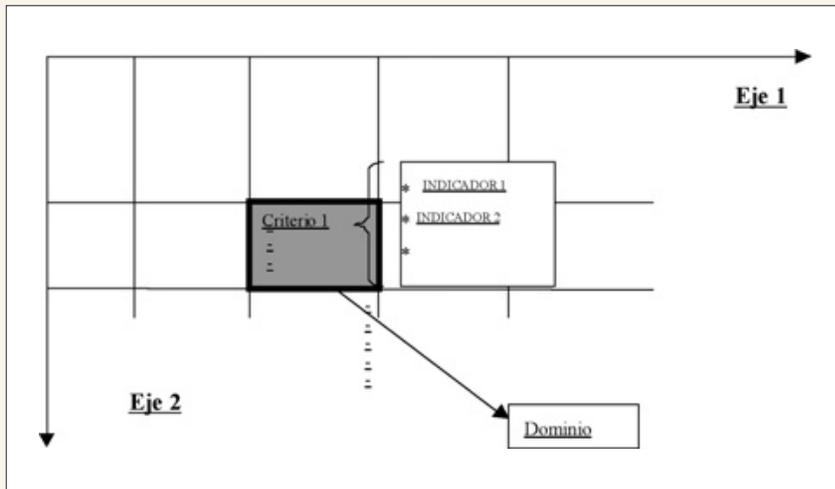


Figura 5: Diagrama de definición

3. UNA INTERESANTE METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El proceso de valoración está basado en la elección de la mejor alternativa entre las diferentes propuestas, teniendo en cuenta el análisis de valor de cada una de ellas que se obtiene a partir de la siguiente metodología:

1. Ponderación de indicadores, criterios, requerimientos
2. Construcción de la función de valor
3. Clasificación de las alternativas
4. Valoración de las alternativas

se traduce en la necesidad de realizar mediciones de tal manera que permitan establecer las preferencias entre ellos (que elemento es preferible con respecto a otro en relación a una misma característica). Para determinar estas preferencias se hace uso de la asignación de pesos en cada nivel de jerarquía.

Dadas las características de nuestro planteamiento de toma de decisión: conjunto finito de alternativas, decisión basada en las diversas características o atributos de las alternativas respecto de los criterios de decisión relevantes, le son aplicables algunos de los métodos de decisión

La matriz de decisión define las preferencias entre los distintos elementos que estemos comparando. Este proceso se hace tanto a nivel de requerimientos como de criterios o indicadores. Las preferencias se realizan a través de una comparación numérica por pares con el fin de establecer la importancia relativa de un elemento respecto a otro, a partir de la siguiente escala.

De acuerdo con el procedimiento matemático propuesto por el **A.H.P.**, la siguiente fase se enmarca en la obtención de prioridades y valores propios.

El vector propio se asocia al mayor valor propio de cada matriz de decisión y representa el *ranking* u orden de prioridades. Por otra parte, el valor propio es una medida de la consistencia del juicio, esto es, comprueba la correcta asignación de las preferencias

IMPORTANCIA RELATIVA	INTENSIDAD (i con respecto a j)	a_{ij}	a_{ji}
1	Igual importancia	1	1
3	Moderadamente más importante	3	1/3
5	Más importante	5	1/5
7	Mucho más importante	7	1/7
9	Extremadamente más importante	9	1/9
1/3	Preferencia intermedia entre 1-3	1/3	3
1/5	Preferencia Intermedia entre 3 – 5	1/5	5
1/7	Preferencia intermedia entre 5 – 7	1/7	7
1/9	Preferencia intermedia entre 7 – 9	1/9	9

Tabla 1: tabla de comparación de Saaty (1981)

Tamaño de matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Índice de aleatoriedad	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Tabla 2: Índice de aleatoriedad (Saaty, 1980)

Se crea una nueva matriz B cuyos componentes vienen definidos por la expresión:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

El vector propio se calcula a partir de los componentes de la nueva matriz B a partir de la expresión:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}$$

Cada elemento de este vector es la correspondiente medición de cada requerimiento, criterio o indicador

Debido a que nuestras estimaciones de las proporciones no son 100% consistentes (capacidad limitada de información), se admite un pequeño margen de violación o inconsistencia. Este pequeño margen se traduce a un 10% de error:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \leq 0.1$$

C.R. = Ratio de Consistencia
 C.I. = Índice de Consistencia
 R.I. = Índice de aleatoriedad

En donde el Índice de consistencia C.I. se define a partir de la ecuación:

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Y el máximo valor propio viene dado por la expresión:

$$\lambda_{max} = 1 + d + d^{-1}$$

Si el índice de consistencia se aproxima a cero, más conveniente es la comparación. Por otra parte se valora el índice de aleatoriedad que se describe como el máximo índice de consistencia de una matriz de decisión

generada de forma aleatoria. Sólo depende del tamaño de la matriz de la manera que se muestra en la tabla 2.

A continuación deberemos proceder a la elaboración de la función de valor. Los indicadores estarán en general medidos en diferentes unidades y en algunos casos serán difícilmente comparables. Debido a ello, se hace necesario unificar dichas escalas. Esta unificación se hace a partir de una función la cual normaliza las medidas de valores a través de una escala que de acuerdo a la metodología propuesta varía entre 0 y 1. No obstante, es posible tomar valores diferentes a los sugeridos.

lo cual se deben obtener los resultados de la función de valor para indicadores, criterios y requerimientos y obtendremos a partir de ella una valoración global de cada una. La selección de la alternativa óptima se realiza a partir de los valores obtenidos en el nivel de los requerimientos. La mejor alternativa es aquella que obtenga el valor (v^l) más alto. Dicho valor se calcula mediante la expresión

$$v^l = \sum_{k=1}^K v_k^l * w_k^k \quad \forall_k = 1...K$$

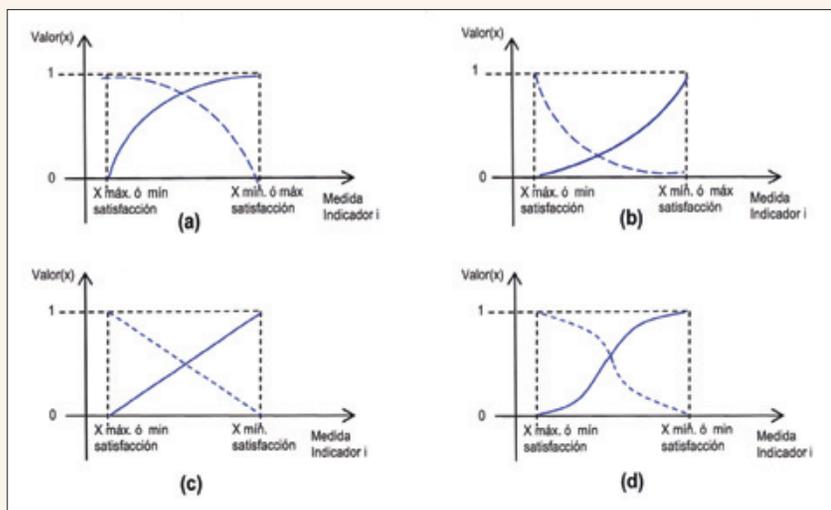


Figura 6: Formas que puede adoptar la función de valor (Manga, 2005)

Para la función se establecen cuatro formas básicas: Cóncava, Convexa, Lineal y en forma de "s" que se deriva de la unión de las dos primeras. Se define estas tendencias ya que según Cañabate (1997) éstas representan los comportamientos más comunes de los individuos en relación a la aversión o atracción al riesgo respecto a las decisiones a tomar.

En el tercer paso se lleva a cabo la clasificación de las alternativas, para

Donde
 v^l = Valor de la alternativa l.
 v_k^l = Valor del requerimiento k para la alternativa l.
 W_k^l = Peso del requerimiento k para la alternativa l.
 K = Número total de requerimientos.

4. CONCLUSIONES

La metodología propuesta se basa en el análisis multi-variable de decisión que engloba tres ejes o planos

fundamentales (economía, sostenibilidad y planeamiento).

Con la aplicación de la estructura jerárquica, a partir del método **A.H.P.** se permite la construcción de una función de valor para poder evaluar más rigurosamente las alternativas presentadas.

Basándonos en el análisis de la cuantificación de todos los indicadores, la metodología propuesta reduce la subjetividad propia que se produce en todo proceso de toma de decisión.

La metodología abarca el campo de la construcción industrial, en el cual existen pocas aplicaciones debido principalmente a las características singulares de estos edificios.

El objetivo final del proceso metodológico es conseguir un equilibrio entre crecimiento económico, equidad social y sostenibilidad ambiental. Para ello, se requerirá una actitud comprometida de la administración pública, una percepción de los problemas asociados a la escala regional y la definición de estrategias con la participación ciudadana.

Una de las mayores ventajas del método es la posibilidad de su aplicación mediante software, que lo hace más fácil de usar en comparación con la mayor dificultad teórica del método.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Agenda 21. 1992. Naciones Unidas.
- Artaraz-Miñón M. 2003. Hacia una economía sostenible: interpretaciones, teorías e indicadores de desarrollo sostenible. *Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales* XXXV. p.553.
- Al-Subhi KM. (2001) "Application of the AHP in Project management". *International Journal of Project Management*, v19, p. 19-28.
- Blanca D, Aguado A, Ormazabal G. (2001) "Estudio de la aplicabilidad de los métodos analíticos de la toma de decisión en el diseño constructivo". *Tesina de especialidad ET-SECCPB*. June 2001. Barcelona.
- Burgueño, 2004. Burgueño A. (2004) El empleo de indicadores medioambientales en el sector de la construcción. *II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente*. Santiago de Compostela.
- MIVES 2002-2005. Proyecto de Investigación (MAT 2002-04310-C 03 -02) Ministerio de Educación y Ciencia. Desarrollado conjuntamente por Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad del País Vasco y LABEIN.
- McHarg IL. 1969. *Proyectar con la naturaleza*. Ed. Gustavo Gili.
- Muxi Z. 2004. *La arquitectura de la ciudad global*. Ed. Gustavo Gili.
- PRESCO 2002: A European Thematic Network on Practical Recommendations for Sustainability Construction. Newsletter. Issue 3. February 2002.
- Rogers R. 1997. *Cities for a small planet*. Ed. Faber & Faber.
- Saaty TL. (1990) "The analytical Hierarchy Process". Ed. Willey. Nueva Cork.
- Sai-on C, Tsun-Ip L, Mei-yung L, Yue-wang W. (2001) "An analytical Hierarchy process based procurement selection method". *Construction Management and Economics* v19, 427-437.
- Serrano A. 2003. La ordenación del territorio y el urbanismo desde la sostenibilidad. *Jornadas Urbanismo para un desarrollo sostenible*. Palma de Mallorca.
- Vegara A. y Rivas J. 2004. *Territorios inteligentes*. Ed. Fundación Metròpoli.
- San Jose-Lombera JT, Losada-Rodriguez R, Cuadrado-Rojo J, Garrucho-Aprea I. "Approach to the quantification of the sustainable value in industrial buildings". *Building And Environment*. 2007. Volumen: 42 Núm. 11 p.3916-3923.
- Losada-Rodriguez R, Roji-Chandro E, Cuadrado-Rojo J. "Propuesta metodológica de evaluación de la sostenibilidad en la edificación industrial". *DYNA Ingeniería e Industria*. Marzo 2007. Vol.82-3 p.53-56.
- San Jose-Lombera JT, Garrucho-Aprea I, Losada-Rodriguez R, Cuadrado-Rojo J. "A Proposal For Environmental Indicators Towards Industrial Building Sustainable Assessment". *International Journal Of Sustainable Development*. 2007 Vol.14-2 p.160-173.
- San Jose-Lombera JT, Garrucho-Aprea I, Cuadrado-Rojo J. "The First Sustainable Industrial Building Projects". *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers*. 2006 Vol.159-ME3 p.147-153. ■